



基于透空隔流堤布置的上游引航道 通航水流条件优化

邹永超¹, 袁 浩², 冉彬君³, 胡亮亮⁴

(1. 武汉理工大学 交通与物流工程学院, 湖北 武汉 430063;

2. 重庆交通大学, 西南水运工程科学研究所, 重庆 400016; 3. 重庆交通大学 航运与船舶工程学院, 重庆 400074;

4. 重庆西科水运工程咨询有限公司, 重庆 400016)

摘要: 针对布置于急弯下游的水利枢纽上游引航道停泊段通航水流条件十分复杂的情况, 依托某水利枢纽工程开展通航水力学模型试验, 探究上游引航道停泊段外接隔流堤的作用, 对比分析了不同透空隔流堤长度下停泊段的流场分布。结果表明, 上游引航道停泊段外接透空隔流堤, 可有效减小停泊段与河道主流间的流速梯度, 改善停泊段通航水流条件。随着透空隔流堤长度的增大, 停泊段最大纵向及横向流速呈减小趋势; 同时, 应综合考虑水流条件、工程造价等因素, 合理设置隔流堤长度。

关键词: 上游引航道; 流速分布; 通航水流条件; 隔流堤布置

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)06-0096-06

Optimization of navigation flow conditions at upstream entrance of approach channel with separation levee

ZOU Yongchao¹, YUAN Hao², RAN Binjun³, HU Liangliang⁴

(1. School of Transportation and Logistics Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China;

2. Southwest Water Transportation Engineering Research Institute, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400016, China;

3. School of Shipping and Naval Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

4. Chongqing Xike Water Transportation Engineering Consulting Co., Ltd., Chongqing 400016, China)

Abstract: The navigation flow conditions at the entrance of the approach channel affected by the upstream curve river course are very complex. In this paper, a navigation hydraulic model test is carried out based on a water conservancy project to explore the function of connecting the approach channel with a bottom-permeable separation levee, and the distribution characteristics of flow velocity at the entrance of the approach channel under different lengths of separation levee are compared and analyzed. The results show that the separation levee can effectively reduce the velocity gradient between the entrance of the approach channel and the river mainstream, and improve the navigation flow conditions. With the increase of the length of the separation levee, the maximum longitudinal velocity and transverse velocity at the entrance of the approach channel tend to decrease. The length of the bottom-permeable separation levee should be reasonably set by comprehensively considering the flow conditions, cost, and other factors.

Keywords: upstream approach channel; velocity distribution; navigation flow condition; layout of separation levee

收稿日期: 2022-08-08

作者简介: 邹永超 (1985—), 男, 工程师, 从事交通运输规划与管理研究。

为了克服大坝上下游集中水位落差, 通常在水利枢纽中修建船闸以连接上下游航道^[1]。引航道停泊段是船闸的进出口, 其位置位于主河道动水与引航道静水的交界处。受大坝泄洪和电站发电引水影响, 水流弯曲变形, 停泊段水流与河道主流存在速度梯度, 从而易在上引航道停泊段形成斜流、横流和漩涡等复杂流态^[2]。在此类复杂流态下, 船舶在行驶过程中可能发生扭转和横漂, 甚至在进出引航道时失控, 造成人员伤亡和财产损失, 影响船舶通航安全^[3]。因此, 优化停泊段的流态对船舶通航安全具有重要意义。

针对不同工程存在的问题, 为优化引航道停泊段的流态, 前人提出了多项改善措施, 如设置导流堤^[4-5]、导流墩^[6-8]、挑流潜坝^[9-10]等。在停泊段布置透空型隔流堤与引航道相接是改善流态的常用措施之一。在河道表面, 该措施阻断了河道主流与停泊段表面水流的交换, 从而减小表面横向流速; 在河道底部, 水流可通过透空的孔洞流动, 实现动量交换, 从而减小河道主流与停泊段

水体的流速梯度, 最终达到优化引航道停泊段水流条件的目的^[11-12]。

针对引航道外接透空隔流堤方面的研究主要集中于隔流堤长度、角度、透水孔大小及个数方面, 而在研究隔流堤的布置形式及范围时, 一般仅针对某一具体工程。由于不同工程的地形条件及水流条件差异较大, 因此相应措施不具有普遍适用性。本文依托某水利枢纽工程开展水力学模型试验, 重点分析透空隔流堤长度对上游引航道停泊段流场分布的影响。研究成果可为类似水利枢纽工程上游引航道的布置提供参考。

1 试验方案设计

本文基于某水利枢纽工程上游引航道开展研究, 上引航道位于急弯下游, 平面布置见图1。受弯道中二次流影响, 结合停泊段静水与动水的交换, 停泊段附近的流态愈加复杂; 加之该河段地形左岸高、右岸低, 导致上游河道表面水体存在从右岸向左岸流动的横流, 使得停泊段通航水流条件恶化, 影响船舶通行安全。

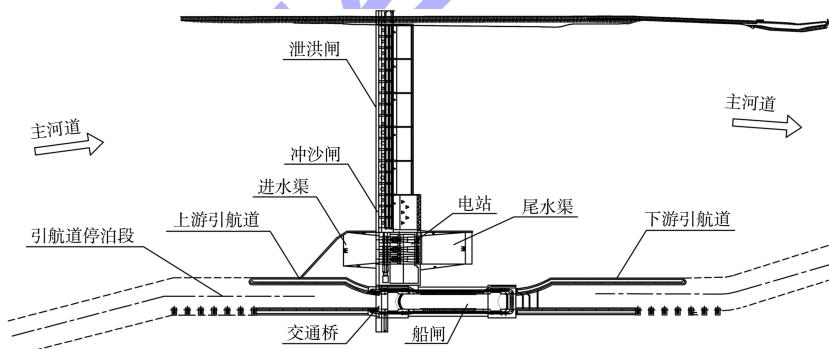


图1 某水利枢纽平面布置

整体试验范围上至坝轴线上游, 长约3.7 km; 下至坝轴线下游, 长约3.0 km; 试验模型按照重力相似比尺设计, 几何比尺为1:100。根据水利枢纽的不同运行条件, 选取流量范围为176.9~5 500.0 m³/s的7种运行工况, 涵盖了水利枢纽洪、中、枯期的运行工况。为了改善上游引航道的水流条件, 在引航道外接透空隔流堤(图2), 对不设隔流堤及3种不同隔流堤长度下停泊段附近的流场作对比, 系统研究隔流堤长度对流场优化的影响。对

应隔流堤长度L分别为100、120、150 m。

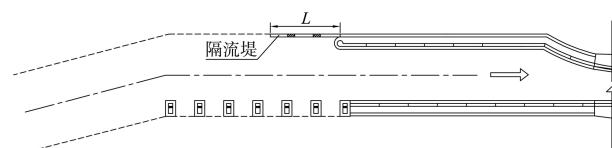


图2 上游引航道及透空隔流堤布置

透空型隔流堤布置方式如图3所示。为了减小从孔洞流动的水流与河道主流方向的夹角, 促进水流平稳过渡, 将孔洞布置为斜孔。根据本工

程水流实际流动情况, 斜孔中轴线与隔流堤中轴线间的角度取 45°。孔洞宽 3 m、高 5 m, 中心间距为 10 m。

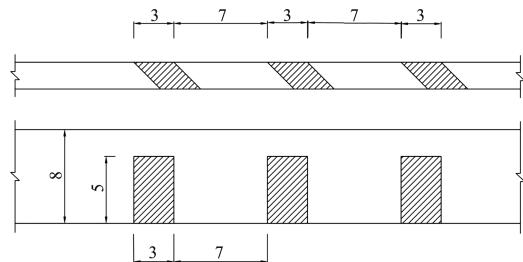


图 3 透空型隔流堤结构 (单位: m)

为量化透空隔流堤长度对停泊段流场的影响, 运用光学表面流场测量系统对表面流场进行测量。以坝轴线为 0-0 断面, 在上游停泊段桩号为 0-125~0-335 共 210 m 范围内布设 8 个断面(图 4), 分析不同运行工况下的纵向及横向流速大小分布。

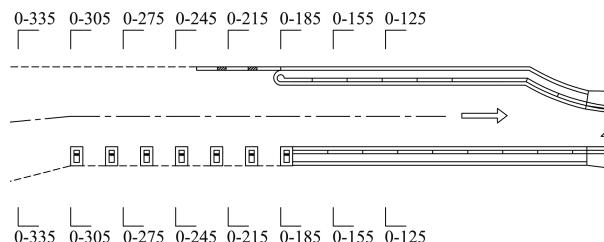


图 4 上游停泊段流速分析断面布置

2 隔流堤长度对引航道流场分布特征的影响

透空隔流堤在改善表面横流的同时, 也通过底部孔洞出流, 减小隔流堤两侧的流速梯度。图 5 为最高通航水位时($Q=5500.0 \text{ m}^3/\text{s}$)不同隔流堤长度下, 上游引航道停泊段流场分布。从 3 种隔流堤布置长度下的流场分布可知, 由于受弯道和大坝泄流的影响, 0-335 断面流向均向主河槽偏转。随着水流靠近隔流堤, 隔流堤的分水与隔流作用逐渐显现。当 $L=100$ 、 120 、 150 m 时, 0-305 断面的纵向流速分别为 0.95 、 0.72 、 0.37 m/s, 横向流速分别为 0.21 、 0.16 、 0.11 m/s, 即随着隔流堤长度的增加, 纵向和横向流速均呈减小趋势, 河道主流对停泊段水流的影响越小, 水流更平稳地进入上游引航道内。对比 $L=100$ m 与 $L=120$ m, 纵向与横向流速分别减小 24% 与 48% ; 对比 $L=120$ m 与 $L=150$ m, 纵向流速与横向流速分别减小 24%

与 31% , 表明隔流堤长度变化对停泊段流态影响较为显著。

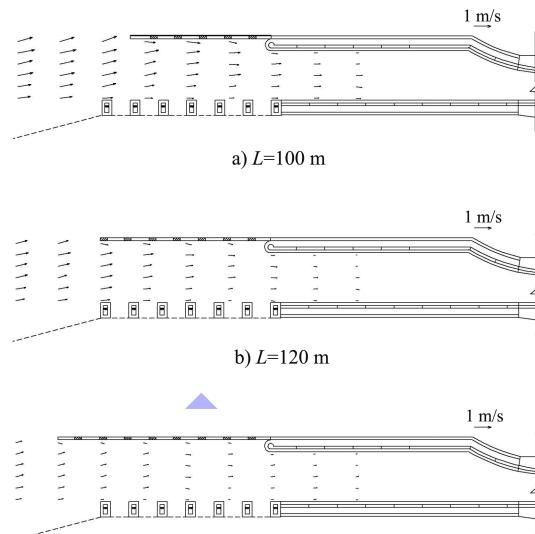
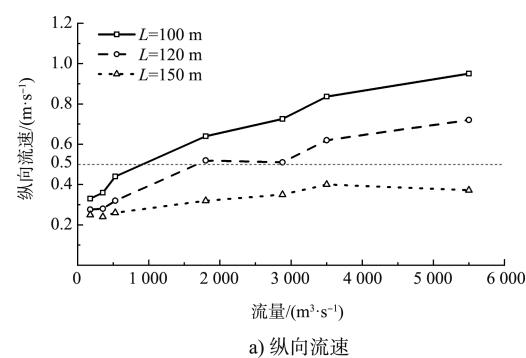


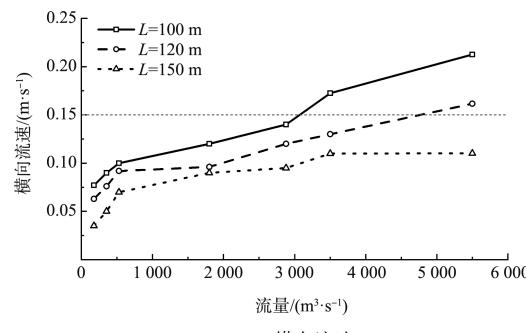
图 5 $Q=5500 \text{ m}^3/\text{s}$ 时不同隔流堤长度下上游引航道流场分布

3 隔流堤长度对不同流量下最大流速的影响

不同隔流堤长度下, 停泊段最大纵向、横向流速随流量的变化如图 6 所示, 可以看出, 在不同隔流堤长度下, 纵向及横向流速随流量的增大均呈增大的趋势。



a) 纵向流速



b) 横向流速

图 6 不同隔流堤长度下最大流速随流量变化

1) 在较小通航流量下($Q = 176.9, 353.8, 530.7 \text{ m}^3/\text{s}$), 河道主流对引航道停泊段的流态影响较小, 在不同隔流堤长度下, 纵向、横向流速均满足《船闸总体设计规范》^[13]要求。随着流量增大至 $1800.0 \text{ m}^3/\text{s}$, $L=100, 120 \text{ m}$ 工况下纵向流速分别增大至 $0.64, 0.52 \text{ m/s}$, 大于规范允许值(0.50 m/s); $L=150 \text{ m}$ 工况下由于隔流堤的导流作用, 使得纵向流速减小为 0.32 m/s , 小于规范允许值。

2) 随着通航流量进一步增大, 通过电站及泄洪闸下泄的流量增大, 河道主流对上游引航道停泊段的影响增大。当流量增大至 $3500.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, $L=100 \text{ m}$ 工况下的纵向流速为 0.84 m/s , 大于规范允许值; 同时, 横向流速增至 0.17 m/s , 大于规范允许值(0.15 m/s); $L=120 \text{ m}$ 时, 停泊段纵向及横向流速分别减小至 $0.62, 0.13 \text{ m/s}$, 纵向流速仍超过允许值; 当 $L=150 \text{ m}$ 时, 纵向和横向流速分别为 $0.40, 0.11 \text{ m/s}$, 停泊段流态得到有效改善。

3) 当流量进一步增大至最大通航流量 $5500.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 纵向和横向流速均显著增大。当 $L=100 \text{ m}$ 时, 纵向和横向流速分别为 $0.95, 0.21 \text{ m/s}$, 均远低于规范允许值; 当 $L=120 \text{ m}$ 时, 纵向和横向流速分别为 $0.72, 0.16 \text{ m/s}$, 较 $L=100 \text{ m}$ 时有所改善, 但仍不满足规范要求; 当 $L=150 \text{ m}$ 时, 纵向和横向流速分别为 $0.37, 0.11 \text{ m/s}$, 均在规范允许范围内。

4 隔流堤长度对各断面最大流速的影响

为进一步分析透空隔流堤长度与各断面最大流速分布的关系, 选取洪、中、枯期3个代表流量进行分析, 分别为 $Q = 176.9 \text{ m}^3/\text{s}$ (最低通航水位流量)、 $Q = 2880.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (常水位通航流量)和 $Q = 5500.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (最高通航水位流量)。

图7为最低通航水位下($Q = 176.9 \text{ m}^3/\text{s}$)沿程各断面的最大纵向和横向流速分布。可以看出, 由于船闸的阻挡作用, 上游引航道靠近船闸段近

似静水状态, 最大纵向流速沿程减小。随着隔流堤长度的增大, 最大纵向流速呈减小趋势, 但差异较小。这主要是因为在最低通航流量下, 河道主流的流速较小, 主河槽与上引航道间的动量交换较弱, 使得不同隔流堤长度下纵向流速差异较小。最大纵向流速、横向流速出现在0-305断面, 分别为 $0.33, 0.08 \text{ m/s}$, 均小于规范允许值。

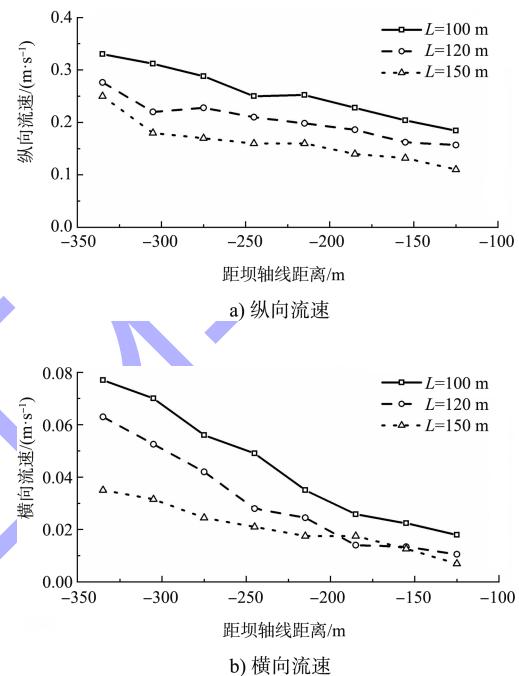


图7 $Q = 176.9 \text{ m}^3/\text{s}$ 时各断面最大纵向和横向流速变化

图8为常水位通航流量下($Q = 2880.0 \text{ m}^3/\text{s}$)沿程各断面的最大纵向和横向流速分布。随着流量的增大, 主河道内的流速增大, 从而带动停泊段与主流间的流速梯度增大, 通过隔流堤透空孔洞间的动量交换亦增大。同时, 受弯道的影响, 水体斜向主流方向, 从而带动停泊段水体产生朝向河道主流方向的斜流, 横向流速增大。不同隔流堤长度下, 最大纵向流速沿程变化如图8a)所示。纵向流速的变化趋势与 $Q = 176.9 \text{ m}^3/\text{s}$ 条件下的大致相同。最大纵向流速出现在0-335断面, 当 $L=100, 120 \text{ m}$ 时, 分别为 $0.73, 0.51 \text{ m/s}$, 不满足规范要求; 当 $L=150 \text{ m}$ 时, 最大纵向流速为 0.35 m/s 。最大横向流速沿程变化如图8b)所示。当 $L=100, 120, 150 \text{ m}$ 时, 最大横向流速出现在

上游 0-335 断面, 分别为 0.14、0.12、0.10 m/s, 满足规范要求。从中可以看出, 增大隔流堤长度对停泊段斜流有明显改善。

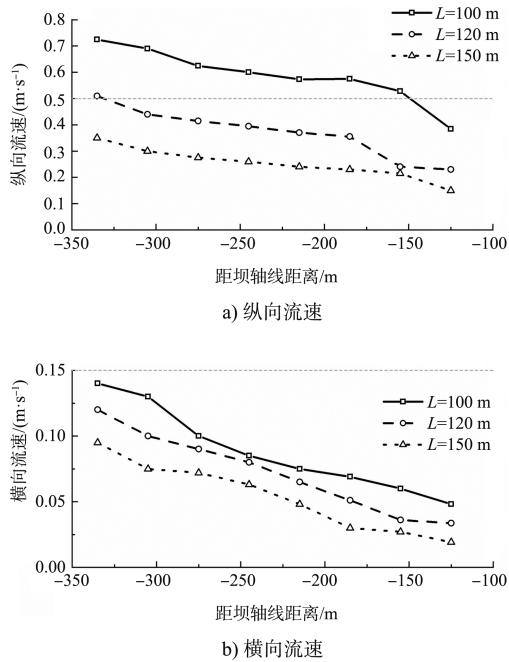


图 8 $Q=2 880.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 时各断面最大纵向和横向流速变化

图 9 为最高通航水位下 ($Q=5 500.0 \text{ m}^3/\text{s}$) 沿程各断面的最大纵向和横向流速分布。在该通航流量下, 河道整体流速进一步增大, 停泊段与河道主流的流速梯度增大, 使得停泊段的流态更加紊乱。如图 9 所示, 最大纵向流速变化趋势与前述一致, 均随与坝轴线距离的减小而减小。最大纵向流速出现于上游 0-335 断面。当 $L=100$ 、 120 m 时, 最大纵向流速分别为 0.95 、 0.72 m/s, 不满足规范要求。当 $L=150$ m 时, 最大纵向流速为 0.37 m/s。在引航进口 0-185 断面, 纵向流速则随着隔流堤长度的增大而减小, 当 $L=100$ 、 120 、 150 m 时, 最大纵向流速分别为 0.57 、 0.38 、 0.24 m/s。最大横向流速分布规律类似于 $Q=2 880.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量条件。当 $L=100$ m 时, 最大横向流速位于上游 0-305 断面, 为 0.21 m/s, 大于规范要求值; 当 $L=120$ m 时, 最大横向流速位于上游 0-335 断面, 为 0.16 m/s, 大于规范要求值; 当 $L=150$ m 时, 最大横向流速出现于上游 0-335 断面, 为 0.11 m/s, 满足《船闸

总体设计规范》要求。

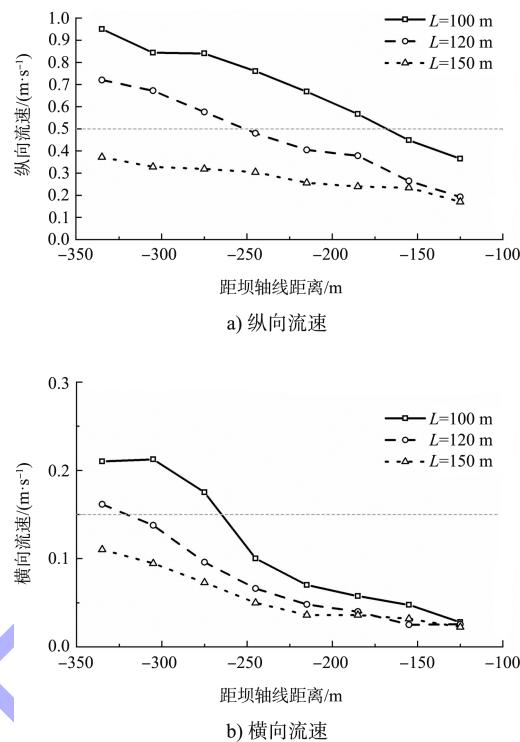


图 9 $Q=5 500.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 时各断面最大纵向和横向流速变化

上述结果表明, 设置透空隔流堤及增大隔流堤长度可减小引航道停泊段的纵向及横向流速, 改善停泊段船舶航行条件。但隔流堤长度并不是越大越好, 当增大到一定值后, 长度的增加对停泊段水流条件的优化作用不显著, 同时还会增加工程造价, 因此应综合考虑水流条件、工程造价等多方面因素, 选择适当的隔流堤长度。

5 结论

- 1) 设置透空隔流堤可有效减小停泊段与河道主流间的流速梯度, 进而减小上游引航道停泊段的纵向及横向流速, 改善停泊段通航水流条件。
- 2) 随着透空隔流堤长度的增大, 停泊段最大纵向及横向流速呈减小趋势。各横断面最大纵向及横向流速随距坝轴线纵向距离的减小呈减小趋势。
- 3) 应结合水流条件、工程造价等多方面综合因素, 选择适当的隔流堤长度。

参考文献:

[1] 胡亚安, 严秀俊, 薛淑. 高水头船闸输水阀门启闭力特性研究[J]. 水运工程, 2021(2): 1-6.

[2] 李伟. 透空隔流堤对船闸引航道口门区水流条件影响研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2007.

[3] 刘亚辉, 王云莉, 张绍培, 等. 窄深河道急弯下游枢纽上引航道布置及通航水流条件试验[J]. 水运工程, 2020(9): 118-125.

[4] 郑星伟, 张铭, 范洪浩, 等. 小溪滩枢纽下游导流堤布置及形式优化[J]. 水运工程, 2018(9): 96-100, 118.

[5] 高盼盼. 新疆某引水枢纽工程导流堤工程设计[J]. 中国水运(下半月), 2017, 17(2): 108-109, 136.

[6] 朱红. 导流墩改善船闸引航道口门区水流条件的试验研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2006.

[7] 祁永升, 许光祥, 许锡宾, 等. 湘江近尾洲二线船闸下游引航道口门区通航水流条件改善措施[J]. 水运工程, 2021(3): 126-131.

[8] 刘晓平, 徐大彬, 李祥, 等. 大源渡下游口门区通航水流条件改善措施试验[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2016, 13(1): 56-61.

[9] 欧阳澍, 刘成林, 程永舟, 等. 透空潜坝附近水流特性的数值模拟[J]. 水利水运工程学报, 2019(1): 109-118.

[10] 刘辛渝. 库区急滩整治措施: 潜坝群水流特性研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.

[11] 王波, 程子兵, 金峰. 水电站引航道透空式隔流堤水力学试验研究[J]. 人民长江, 2012, 43(7): 67-69, 76.

[12] 何飞飞, 王晓刚, 王彪, 等. 基于等面积法的透空式隔流墙二维水流数值模拟研究[J]. 中国农村水利水电, 2021(10): 86-91.

[13] 中交水运规划设计院. 船闸总体设计规范: JTJ 305—2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第 84 页)

岸电接入方案 2: 采用集装箱式储能船综合一体方案, 储能船主要为锚泊后负载功率大于 30 kW、用电量需求 100 kW·h 以上的船舶提供电源。将标准集装箱储能单元(含储能电池、电池管理系统、变流器等设备, 100 kW/500 kW·h)放置在专用工作船上, 组成 1 艘储能供电船, 同时为多艘锚泊船舶供电, 基于船舶条件可考虑接入光伏发电系统。

3 结语

1) 彻底解决待闸船舶使用柴油发电带来的污染问题。岸电的接入可保证即插即用, 清洁方便, 彻底解决污染问题, 是实现水运行业节能减排的重要技术, 也是建设“绿色循环低碳”城市的重要举措。

2) 为锚地待闸船舶使用岸电的可行性、安全性、便利性提供保障, 为水上绿色服务区的建设提供重要的技术支持和思路。岸电将成为未来锚地建设不可或缺的基础设施, 是建设“绿色港口、智慧港口”的重要环节。

3) 安全、方便、实用是基本诉求, 岸电的推广要使船舶“用上电”, 让使用者体会“用电好”。锚地岸电的推广应用必将影响锚地的建设和船舶的修造, 新发展理念使得锚地和船舶的功能性需求发生改变, 锚地的选址、锚泊方式和船舶的供电系统应与岸电接入相协调。

参考文献:

[1] 邵勇, 白玉峰. 船舶岸电应用技术研究[J]. 广州航海学院学报, 2018, 26(2): 25-28, 32.

[2] 徐元潮, 李钦奉, 魏赛, 等. 港口岸电电缆提升输送装置设计[J]. 机械与电子, 2018, 36(4): 33-37.

[3] 胡军毅, 顾群, 刘倩. 重庆—三峡游轮岸电技术应用实践[J]. 水运工程, 2021(9): 76-80, 100.

[4] 张圣超. 船舶港口岸电技术及其应用[J]. 科技风, 2020(3): 249.

[5] 陈轩, 陈仲盛. 直立式岸电设施接电箱升降装置设计[J]. 水运工程, 2022(9): 75-79.

(本文编辑 赵娟)